

東京電力 正会員 佐々木 弘 美  
東京電力 新津 強  
電力中央研究所 正会員 中野 毅 弘

1. まえがき 地中送電線シールドトンネルの二次覆工コンクリートは、止水を主たる目的として打設されるが、水和熱、温度降下、乾燥収縮等の変形が拘束されることによって生ずるひびわれ発生を避けることが難しい。本報告は、シールド二次覆工コンクリートのひびわれ発生原因とその防止対策を明らかにすることを目的として、東京電力地中線千川通り工事（東京都練馬区）において、コンクリートの配合を変え試験区間を設置し、ひびわれ観測を行なった結果について定性的な観点から考察したものである。現在、応力解析、現場計測および室内実験を実施し、総合的な検討を進めているが、ここでは、試験したコンクリートの配合とひびわれ発生状態の相関性について、今まで得られた結果を述べる。

2. 現場試験の概要 現場試験に供したシールドトンネルは、内径 2.5 m のもので、1 リング長さ 9.0 m から成り、覆工厚は、スキンプレート部で 32.5 cm、主桁部で 17.5 cm のものである。トンネル軸方向のセグメントの鋼材比は、コンクリート断面の 3.60 %、に相当する。10.8 m を 1 スパンとして打ち継ぎ目を設け、3 スパンを連続して同一配合のコンクリートを打設し、配合を 5 種類変え、計 18 スパンを試験区間とした。試験区間は、堅坑位置より 30 m から 230 m までの範囲にあり 55 年 10 月 23 日から 11 月 20 日にかけてコンクリートを打設した。コンクリート打設後は、トンネルの両端を閉塞し、通風を妨げ、坑内温度を 19 ～ 20 ℃に、坑内湿度を 90 ～ 95 % の間に保持した。試験区間の最後のコンクリート打設後、材令 60 日（56 年 1 月 20 日）で通風を開始した。ひびわれの観測は、クラックスケールを用いて目視によった。

3. コンクリートの配合 既往の二次覆工コンクリートのひびわれ状況の調査によれば、①コンクリートの打設後 1 ～ 2 週間以内に発生する水和熱によるひびわれ、②通風後数日してコンクリートが冷却され始めると共に生ずる温度ひびわれ、および③坑内湿度の低下に伴って生ずる亀甲状の乾燥収縮ひびわれに大別される。実際には、ひびわれは、これら要因が複合された結果発生するものと思われる。すなわち、二次覆工コンクリートの配合設計の要件は、水和熱を少なくし、乾燥収縮を減じ、引張クリープの大きくなる様にするところであるが、一方では、セメントとシールドの空間が狭く、コンシステンシーの大きいコンクリートが必要となること、施工サイクル上からある程度の早期強度が必要となること等のために、前記の要件を満足させることは必ずしも容易ではない。本試験では、呼び強度 210  $\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ 、および 180  $\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$  のブレンコンクリートに水和熱抑制型膨張材を用いたもの、膨張材を用いてケミカルプレストレスを期待したものおよびフライアッシュを混和し、水和熱の削減を図ったもの、について検討を加えた。コンクリートは、粗骨材最大寸法 25 mm、空気量 5.5 ± 1 % として、現場到着時のスランプを 18 ～ 20 cm の範囲とし、材令 28 日で所定の強度を満足すること、材令

表一1 コンクリートの示方配合

16 時間において少なくとも 20  $\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$  の強度が発揮されることを目安として配合を試験練りによって選定した。選定したコンクリートの示方配合は、試験施工順に表一1 に示す通りである。

4. シールド二次覆工コンクリートのひびわれ性状

| 配合<br>番号 | 呼び<br>強度<br>( $\text{SL}$ ) | 水セメ<br>ント比<br>(%) | 細骨<br>材率<br>(%) | 単 位 量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) |          |            |               |     |     |                      |
|----------|-----------------------------|-------------------|-----------------|----------------------------------|----------|------------|---------------|-----|-----|----------------------|
|          |                             |                   |                 | 水                                | セメ<br>ント | Fly<br>ash | 膨 張 材         | 細骨材 | 粗骨材 | 混 和 剤                |
| ②        | 210                         | 63.0              | 46.5            | 188                              | 299      |            |               | 795 | 925 | P033:5L<br>303#:2A   |
| ③        | 180                         | 66.0              | 46.5            | 188                              | 285      |            |               | 800 | 931 | 〃                    |
| ④⑤*      | 210                         | 61.8              | 46.5            | 185                              | 269      |            | CSA100R<br>30 | 766 | 927 | P033:5L<br>303#:2.5A |
| ⑥*       |                             | 50.5              | 44.0            | 187                              | 370      |            | CSA#20<br>55  | 707 | 942 | P033:5L<br>#303:1.5A |
| ①        | 180                         | 57.8              | 46.0            | 173                              | 239.2    | 59.8       |               | 793 | 910 | P033:5L<br>#303:2A   |

※：鉄筋有。

本試験工区において試験に供した配合のコンクリートの水和熱による温度上昇は、打設時から 20.2℃ (①配合) ～ 35.7℃ (⑥配合) に達していたが、コンクリートの硬化時の水和熱によるひびわれ発生を通風時までを確認することが出来なかった。

通風後の二次覆工コンクリートの試験区間におけるひびわれパターンの展開図の代表例を図-1 に、また天端部分の円周方向に生じたひびわれの平均幅とひびわれ面積の積算値を各配合ごとに図-2 に示す。ひびわれは、通風後 2 ～ 3 日で生じたものが大部分であった。これは、通風を厳寒期の 1 月下旬に行なった為に覆工コンクリートの冷却収縮のセグメントによる拘束効果が顕著に生じたこと、さらに硬化時に生じた水和熱による拘束引張応力の一部が通風時に残存していたことが主たる原因であると推察される。試験区間の配合相違によるひびわれ発生状況を見ると、呼び強度 180 ㍻の配合を用いた区間が他の配合を用いた区間に比べて比較的ひびわれが顕著であり傾向的には混和材を用いないものがひびわれが多くなっていた。図-2 のひびわれの平均幅および面積の積算値について比較すると、フライアッシュを混和した配合①および水和熱抑制型膨張材を用いた配合④がひびわれ発生 の程度が最も少ないものと判断される。予想に反し同じ水和熱抑制型膨張材を用いて補強筋を配した区間⑤ではひびわれの発生が顕著で、また、ケミカルプレストレスの導入を目途とした配合⑥のコンクリートに最大幅 0.4 mm に達する全円周をめぐるひびわれが発生した。試験スパンの数が少ないため、これらの試験結果から軽々に結論を下すことは出来ないが、膨張コンクリートのひびわれ防止効果がよくなかった原因としては、養生時の水分補給が少なく十分な膨張効果が得られなかったこと、セグメントによる膨張拘束が不完全であったこと等が考えられる。温度降下による拘束効果を計る指標として水和熱による温度上昇の最大値と通風 1 週間後のコンクリート温度の間の差を求め、この値とひびわれ幅の関係をプロットした図-3 より、水和熱の低減がかなりひびわれ防止に重要な役割を演ずるものと思われる。但し、ケミカルプレストレス導入の配合⑥がひびわれ幅が小さかったのは膨張効果によるものと考えられる。コンクリートを呼び強度の観点から見ると 210 ㍻の方が 180 ㍻のものよりひびわれ発生が少ない様である。

5. あとがき 二次覆工コンクリートのひびわれは、多くの要因に支配され、同一条件下にあってもひびわれ性状にかなりばらつきが見られた。この為、試験区間をさらに長くとりひびわれの比較的少なかった配合①、④について、統計的な分析調査を行なう予定である。

本研究を実施するに当り、電力中研、原子力構造研究室、清水建設富士見台作業所、同研究所、および電気化学中央研究所の御協力があったことを記し、謝意を表します。

Mix Proportion No.4 (単位mm)

